

Energiatervezés holisztikusan – a fenntartható energiagazdálkodás tervezése az „Erre van előre” projekt tükrében

dr. Munkácsy Béla, Sáfián Fanni, Harmat Ádám

*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék
munkacsy@elte.hu; safian.fanni@gmail.com; harmatadam@caesar.elte.hu*

Kulcsszavak: fenntartható energiastratégia, multidiszciplináris energiatervezés, tárbeliség

1. Bevezetés

Az ökológiai lábnyom kalkulációk eredményeinek sokasága alapján ma már bizonyosak lehetünk abban, hogy a környezet terhelése hazánkban legalább 3-4-szeresen haladja meg az ezen 93030 km²-es terület által hosszú távon biztosítani képes szintet. Ennek kapcsán azt is kijelenthetjük, hogy hazánk hatalmas ökológiai lábnyomának legnagyobb része, mintegy 60%-a van valamilyen összefüggésben az energiagazdálkodással, ráadásul ez az a szektor, amelyik a leggyorsabban növekszik. Az energiatermelési oldal környezetterhelésének hozzávetőlegesen kétharmada a fosszilis energiaforrásokkal, egyharmada az atomerőművel hozható kapcsolatba [17].

Napnál világosabban látszik, hogy ha a környezet terhelését és az energiafüggést csökkenteni akarjuk (mert nincs más választásunk), ezzel párhuzamosan a munkahelyek számát növelni kívánjuk (mert ez a társadalmi érdek), akkor döntéshozóinknak egy gyökeres irányváltást kellene minél hamarabb megvalósítaniuk, amelynek három egymástól elválaszthatatlan pillére az energiatakarékosság, az energiahatékonyság, valamint a megújuló energiaforrások intenzív, ám fenntartható léptékű alkalmazása. Jelen tanulmány a fenti három területre, ezek kapcsolatrendszerére, illetve a fenntartható energiatervezésben betöltött szerepükre kívánja a figyelmet ráirányítani. Azonban a területi keretek itt nem tesznek lehetővé mindenre kiterjedő elemzést, ám az érdeklődők rendelkezésére áll ennek a szakmai műhelynek 4 tanulmánykötete [11, 12, 13, 14], amely számos most meg nem válaszolt kérdésre választ ad. A fentiek háttérében további több ezer oldalnyi megalapozó tanulmány áll, amely ugyanezen szakmai műhely

munkájának eredménye, és amelyet az elmúlt tizenöt évben nemzetközi és hazai szaklapokban publikált írások, doktori dolgozatok, országos szinten kiemelkedően eredményes OTDK-dolgozatok, valamint szakdolgozatok formájában hoztak nyilvánosságra a fenntartható energiagazdálkodás és energiatervezés témakörében.

2. A rendszerben való gondolkodás – és annak hiánya

Egy Albert Einsteinnek tulajdonított gondolattal egyetértve valóban úgy tűnik, hogy „egy problémát nem lehet ugyanazzal a gondolkodásmóddal megoldani, amivel azt létrehoztuk” („Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind.”). Ezt az energiagazdálkodás aktuális problémáira alkalmazva: ha valódi megoldást akarunk a szektor által okozott környezeti, társadalmi és gazdasági problémák sokaságára, akkor szakítani kell azzal a kizárólag energetikai és rövidtávú gazdasági szempontrendszerrel, amely az ipari forradalom óta meghatározója minden ide vágó döntésnek. A megoldás, a tragikus összeomlás elkerülésének kulcsa tehát – ha beszélhetünk még ilyenről a környezeti és erőforrás-válságnak ebben a szakaszában [10] – a **minél nagyobb, összetettebb rendszerben és a minél hosszabb időtávban** való gondolkodás. Ez utóbbi jelentése egyértelmű, de kérdéses lehet az előbbi értelmezése.

A „minél nagyobb, összetettebb rendszer” meghatározás mindenképpen többet kell, hogy jelentsen, mint a hőtermelés vagy az áramtermelés keretein belül való gondolkodás, ami már önmagában szokatlan lehet az meglehetősen specializált problémákhoz szokott szakértők számára. Nem jelent megoldást az sem, ha megpróbáljuk az energiaszektorra, akár annak egészére kibővíteni a megoldáskeresést. Sőt, az ennél sokkal nagyobb rendszer, a környezetgazdálkodás egésze is csak részben fedi le azt a területet, ahol a jelen súlyos kihívásaira a válaszokat keresnünk kell. A régi energiarendszer összeomlásának küszöbén, illetve egy új, életképes struktúra létrehozásához ki kell terjesztenünk vizsgálódásainkat részben a komplex természettudományos ismeretekre, de részben olyan társadalomtudományi összefüggésrendszerekre is, amelyek már az etika, a szociológia, a pszichológia vagy a kulturális antropológia tudományterületeibe tartoznak [15]. Ez néhány, nálunk fejlettebb energiatervezési módszertannal rendelkező országban (Németország, Dánia, Norvégia, Nagy-Britannia) már nem kérdés. Például a

fogyasztóoldali befolyásolás (DSM) terén – melynek középpontjában maga a fogyasztó áll – már eredményes mintaprojektek is sok helyen futnak. Ezekben az országokban szép számmal találni olyan társadalomtudóst, aki energiatervezéssel foglalkozik, sőt, ilyen tárgyú egyetemi képzést irányít (pl. az Oslói Egyetemen); de olyan mérnököt is, aki a társadalomtudományok területére merészkedve jutott meghatározó, energiagazdálkodással kapcsolatos felismerésekre (pl. a Dániai Műszaki Egyetemen). A legsikeresebb, leginkább előremutató projektek azok, ahol a műszaki, természettudományi és társadalomtudományi területek szakértői a saját területüket művelve, mindhárom tudományág szükségességét és a problémák szempontjából azonos relevanciáját elismerve és szem előtt tartva, szoros együttműködésben dolgoznak együtt – ahogyan erre jelen szakmai műhely is figyelmet fordít. Csak ezek a kutatások (sok egyéb mellett például [1]) és az azokon alapuló megoldások képesek a komplex problémákra hosszú távon is fenntartható megoldásokat kínálni.

3. Az „Erre van előre” kutatás bemutatása

A kutatás fő jellemzői

Az energiagazdálkodással kapcsolatos kutatási tevékenység szervezeti háttere egyfelől a Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesülethez, másfelől az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékéhez kötődik. Az egyesület 1994 óta foglalkozik a téma oktatási dimenziójával, kutatásába 2007-ben kezdett, elsősorban az energiagazdálkodás társadalomtudományi vonatkozásait érintően. Ennek eredményeként 2008-ban publikálták „Az energiagazdálkodás és az emberi tényező” című tanulmánykötetüket [11]. A komplex megközelítésű, korszerű energiatervezéssel 2010 óta foglalkozik a szervezet, amelyhez szoftveres háttérrel a dán székhelyű International Network for Sustainable Energy – Europe (INFORSE-Europe) biztosít, amelynek az egyesület egyben magyarországi tagszervezete is.

Ebbe a munkába kapcsolódott be az ELTE tanszéke, ahol 2000 óta foglalkoznak a fenntartható energiagazdálkodás kutatásával és oktatásával a graduális és a doktori képzésben egyaránt. A tanszék kiterjedt nemzetközi kutatási kapcsolatokkal rendelkezik az energiagazdálkodás terén – elsősorban német, brit, dán és norvég egyetemekkel, kutatóhelyekkel. A tanszék munkatársai elsősorban a térinformatikai alkalmazásoknak

köszönhető új kutatási eredményekkel járultak hozzá a hazai megújulóenergia-potenciálok feltérképezéséhez.

A 2 éves közös munka eredményeként az egyesület 2011-ben publikálta az „Erre van előre: Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon – Vision 2040 Hungary 1.0” című kötetet [12], amely az első olyan hazai dokumentumok egyike, amely teljes egészében megújuló alapon képzel el az ország energiaellátását. Ennek kiegészítéseként, pontosításaként 2014. októberében jelent meg az ELTE tanszékének gondozásában „A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út – Erre van előre! – Vision 2040 Hungary 2.0” című munka [13].

A projekt kutatási kérdése az, hogy **hogyan és mikorra lehetséges a 100% megújuló energia részarány elérése hazai körülmények között**. Az eredményként létrehozott energiaforgatókönyv ideális szabályozási körülményeket feltételez, vagyis egyfajta „best case scenario”. Kulcsfontosságú jellemzője még a rendszerszemlélet kiterjedt alkalmazása, a transzdiszciplináris megközelítés. A forgatókönyv szerzői főként tudományos fokozattal rendelkező, vagy a fokozatszerzéshez közel álló kutatók és kiemelkedő eredményekkel rendelkező egyetemi hallgatók. Képzettségüket tekintve az alábbi szakterületeket fedik le:

- geográfus (regionális elemző; terület- és településfejlesztő; környezetkutató),
- környezetgazdálkodó,
- környezetkutató (környezetfizikus),
- megújuló energetikai szakértő,
- gépészmérnök,
- villamosmérnök,
- agrármérnök,
- környezetmérnök,
- építészmérnök,
- közgazdász,
- pszichológus.

A szerzők hazai és nemzetközi energetikai tanulmányokkal és a fenntartható energiagazdálkodással kapcsolatos – és az ismeretek szempontjából vélhetően nem elhanyagolható – gyakorlati tapasztalatokkal is rendelkeznek.

A projekt energiatervezési alapelvei közül a legfontosabb az, hogy szakítva az általános megközelítésmóddal, vagyis azzal, hogy az eddigi tendenciákból, így leginkább a

fogyasztás növekedéséből indulnak ki, e munka kereteit a természeti korlátok határozták meg. Ennek leglényege, hogy fenntarthatóság szintjére, vagyis a jelenlegi szint mintegy harmadára kell visszaszorítani az energiagazdálkodás környezeti terhelését. Ennek kulcsa az alábbi három faktor együttes alkalmazása:

- a fogyasztás csökkentése;
- a hatékonyság növelése;
- valamint azon technológiák alkalmazása, amelyeknek kisebb a környezetterhelése és ezzel együtt gazdasági értelemben is kiállják az összehasonlítás próbáját – ez napjainkban a megújuló energiaforrások alkalmazásaira igaz, ezért a kutatás ezek hazai alkalmazási lehetőségeire fókuszált.

Ugyancsak fontos tervezési alapelv, hogy a megújuló energiák térnyerését nem problémaként értelmezték, hanem az energiarendszer legértékesebb forrásaként. Ennek kapcsán – sok meghatározó hazai műhely munkájával ellentétben – nem az volt a kérdés, hogy miért nem lehetséges ebben az irányban elindulni, hanem az, hogy hogyan valósítható meg az irányváltás.

Ugyancsak szakítva az általános hazai energiatervezési elképzelésekkel, a megújuló energiaforrások integrálása kapcsán nem a hatalmas és éppen ezért költséges tartalék energiatermelő kapacitások kiépítésében, hanem ennél lényegesen korszerűbb és olcsóbb technikák alkalmazásában keresték a megoldást. Ezek közül kiemelkedik a gazdasági szabályozási eszközök – ezen belül leginkább az óránként változó mértékű energiaárak – fokozott figyelembe vétele, és az ezzel együtt alkalmazott műszaki megoldások révén a fogyasztás mértékének és időbeliségének szabályozása (DSM). Ezt egészíti ki az energiaátalakítások és tárolási megoldások minél hatékonyabb és minél diverzebb köre.

A több éves kutatás lényeges jellemzője, hogy számos részfeladatot számítógépes támogatással végeztek el:

- térinformatikai alkalmazások segítségével technológiákra bontva készültek potenciálbecslések;
- a tudományos műhelyben a környezeti hatások feltérképezésére speciális célszoftverrel valósult meg teljes életciklus-vizsgálat, például egy hazai körülmények között dolgozó szél erőműre, illetve erdei biomassza hasznosítására;
- az energiarendszer egészére készült 2050-ig öt éves bontásban egy számítógépes modell, amely az energetikai átmenet egyes lépéseit vizsgálja;

- illetve csak részben hazai adatokkal, de készült egy elemzés, amely egy adott évre órás bontásban elemezte egy szimulált energiarendszer működését.

A 2050-ig előretekinthető energiamodellezés

Az INFORSE-Europe által kifejlesztett excel alapú szoftverrel modellezték az energetikai átállás folyamatát ötéves bontásban 2000-től 2050-ig. Beviteli adatforrásként egy olyan komplex adathalmazt kellett létrehozni, amely az energiatermelési oldal átalakításához szükséges paramétereken túl tartalmazza az energiafogyasztási oldal legfőbb jellemzőit is – mindezek legfőbb forrása az IEA és a KSH adatbázisai voltak.

Az energiatermelési oldalt tekintve a következő lépésekre volt szükség:

- térinformatikai szoftver segítségével megtörtént a megújuló energiaforrások technikai illetve társadalmi-gazdasági potenciáljainak pontosítása, szükség esetén felmérése;
- az egyes megújuló energiaforrások felhasználásához rendelkezésre álló technológia, valamint a várható jövőbeli technológiai fejlődést figyelembe véve sikerült meghatározni, hogy az egyes potenciálokat – 5 éves lépésekben 2050-ig előretekinthető – milyen ütemben aknázhadjuk ki. Fontos megjegyezni, hogy egyedül a biomassza és a geotermikus energia esetében számol a koncepció a potenciál teljes kihasználásával, azzal is csak ideiglenesen, 2025 és 2040 táján. A későbbiekben a hatékonyság folyamatos növelése szükségessé teszi az energiaforrások ilyen intenzív igénybe vételét.

A felhasználási oldalt tekintve a modell számottevő energiafelhasználás-csökkenéssel és hatékonyság növeléssel számol, amely az alábbi módon épült a koncepcióba:

- a releváns szakirodalmi források feldolgozásával az energiafogyasztással kapcsolatos adatbázist kellett létrehozni egyfelől az aktivitás (fogyasztás mértéke), másfelől az egységnyi energiaszolgáltatásra jutó energiafogyasztás (hatékonyság) szempontjából – mind az ipari, a mezőgazdasági, a közlekedési ágazatok, illetve a háztartások kapcsán – majd ez alapján 2050-ig előretekinthető 5 éves lépésekben kellett felépíteni a jövőképnek ezt a dimenzióját;
- különösen a közlekedésben (de más területeken is) megfontolás tárgyát képezte a meglévő fogyasztási struktúra átalakítása, így például a személygépjárművek igénybevételeinek háttérbe szorítása, valamint az üzemanyag-váltás lehetősége.

A fentiek alkalmazásával a modell azt igazolta, hogy Magyarország primerenergia-igénye nagyságrendileg 310 PJ-ra volna csökkenthető. Ennek fedezése egy igen diverz struktúrában pusztán megújuló energiaforrásokkal is megoldható. Igen lényeges és tanulságos részeredménye a számítógépes modellezésnek, hogy annak ellenére, hogy a jövőben nagyobb szerepet kap az elektromos árammal működő eszközök sokasága (autózás, hőszivattyúk), mégis lehetséges az elektromos energia felhasználásának visszafogása. Ez 2040-re ~120 PJ-ra, 2050-re pedig ennél is alacsonyabb, akár 100 PJ körüli szintet érhet el a 2005-ös ~138 PJ-os értékhez [5] képest. E mellett import villamos energiára sem szorulnánk, ráadásul a forgatókönyv szerint energiarendszerünk 2050-re már 10-15 PJ többlet villamos energiát termelhetne, amelyet export útján lehetne értékesíteni. A modell szerint a villamos energia 2/3-ad részét szélenergiából, 15%-át napelemek, 18%-át biomassa (főként hulladékalapú biogáz), míg 1,5 %-át vízenergia segítségével termelhetnénk meg.

Az egyes szektorok energiafelhasználását tekintve a legnagyobb csökkenést a háztartások területén lehetne elérni, ahol 2005 és 2040 között alig 35 év alatt 166 PJ-lal, vagyis mintegy harmadára mérséklődhet a felhasznált energia mennyisége. A közlekedési szektorban 144 PJ energiacsökkenés érhető el, amely révén a 2005-ös szint egynegyedére csökkenhetne a szektor primerenergia-felhasználása. A modell szerint a radikális hatákonyságjavítás révén az ipar, a szolgáltató szektor, valamint a mezőgazdaság is képes lehet energiaszükségletének megfelelésére. A fentiek megvalósíthatóságát igazolja, hogy számos eredményes projektet már hazánkban – és már most, vagyis nem a 30 év múlva alkalmazott technológiákkal – sikerre vittek (pl. Solanova projekt). További igazolásként értelmezhető, hogy maga az Európai Unió is a fentiekhez igen hasonló elvárásokat fogalmaz meg hosszú távon előretekintő energiatervezési dokumentumaiban.

4. Megújuló energiaforrások nagyfokú integrációja: a rugalmas energiarendszer koncepciója

A hazai jelenkép

A megújuló energiaforrások rendszerbe integrálását már a mai, minimális részarány mellett is problémásnak véli a hazai rendszerirányító – míg mások ezt az aggályt erősen

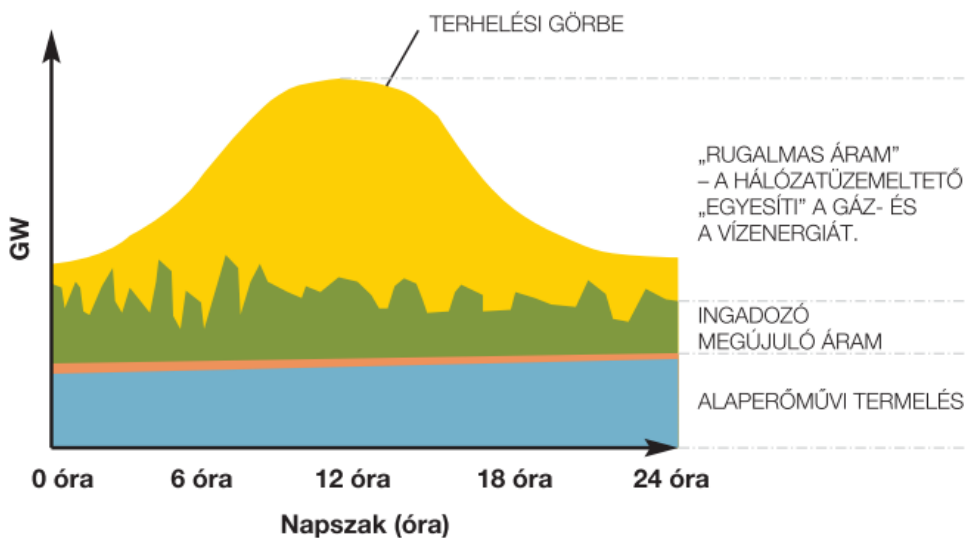
vitatják. Számos országban a magyarországi megújuló energiatermeléshez képest nagyságrenddel több villamos áram befogadása is problémamentesen megoldható időszakosan rendelkezésre álló energiaforrásokból is. Dániában több évtizedes kutatás [4, 7, 8], energiarendszer-szimulációk és éles próbák után jutottak el odáig, hogy a Parlament döntése értelmében elfogadják Dánia 100%-ban megújuló alapú energiarendszerének tervét, amelyet 2050-ig kell megvalósítani. A fentiekben vázolt hazai viták szempontjából érdekes, hogy ennek keretében már 2030-ra 50%-ig tervezik növelni a szélenergia arányát [2]. A hazai illetékesek többsége legtöbbször szabályozhatatlan, drága megújuló kapacitásokról, méregdrága, hatalmas energiátározókról és gazdaságtalan fosszilis háttérerőművekről beszélnek, ha nagyobb jövőbeli megújuló részarányok kerülnek szóba. Mi lehet annak az oka, hogy míg külföldön a nagy arányban megújuló energiarendszerek működőképeseek még akár a világ egyik legjelentősebb iparával rendelkező Németországban is, addig Magyarországon, úgy tűnik, drága és kockázatos rendszert eredményeznének?

A megoldás nyilvánvalóan összetett, hiszen földrajzi és gazdasági különbségek is találhatók az egyes országok között. Gondolhatnánk itt Dánia kedvező szélklímájára, amit a szélerőművek átlagos csúcskihasználási óraszám (2463 óra/év) tekintetében elért európai harmadik helye igazol [18]. Ám azt is látnunk kell, hogy ugyanezen ország más megújuló energiaforrások tekintetben már lényegesen kedvezőtlenebb helyzetben van, így például a másik viharos gyorsasággal terjedő, és a jövőben várhatóan meghatározó áramtermelő eszközök, a napelemek esetében az átlagos csúcskihasználási óraszám 291 óra/év, amivel Dánia Európában az utolsó helyen áll. Azonban mindkét imént említett technológia esetében igaz, hogy az üzemelő berendezések csúcskihasználási óraszámának vonatkozásában Magyarország az európai élvonalban van, hiszen Stróbl. A. tanulmánya [18] szerint szélenergia tekintetében negyedik [2228 óra/év], napenergia [1270 óra/év] vonatkozásában harmadik helyen állunk! Dánia adottságai a biomassza, a vízenergia és a geotermia tekintetében is lényegesen szerényebbek a hazainál.

A lényegi eltérés tehát nem a természeti adottságokban, hanem a gondolkodásmódban rejlik: a jelenlegi, fogyasztáskövető, centralizált, és a rugalmas, decentralizált energiarendszerek közötti lényeges különbségek azok, amelyek biztonságosan lehetővé teszik a megújuló energiaforrások nagyarányú integrálását, vagy pedig éppen azzal okoznak kockázatot a villamosenergia-rendszerben.

A jelenlegi és a rugalmas energiarendszer jellemzői

A rugalmas energiarendszer működtetése több fő ponton is eltér a jelenlegi gyakorlattól: az alkalmazott technológiák mellett azok használata, tehát a rendszerszabályozás célja és módszertana is merőben különbözik. A jelenlegi módszertant úgy fogalmazhatnánk meg, hogy „nézzük meg, mennyi a fogyasztás, és néhány centralizált, jól szabályozható erőművel termeljük meg az igényeknek megfelelő energiamennyiséget.” Ennek ma nem is nagyon van alternatívája, hiszen hazánkban a kiserőművek nem képviselnek akkora részarányt, hogy érdemben részt vehessenek a rendszerszabályozásban; a megújuló erőművek pedig általában ide tartoznak, vagy nem szabályozhatók. Jellemző a megközelítésre a „termeljük minél többet” alapelv is. Ennek aggasztó megnyilvánulása, az új atomerőművi blokkok építésének hazai tervezése – ennek megvalósulása esetén a MAVIR szerint is éppen annyi áramot fogunk exportálni 2027-ben, amennyi az új blokkok révén megtermelhető [9].

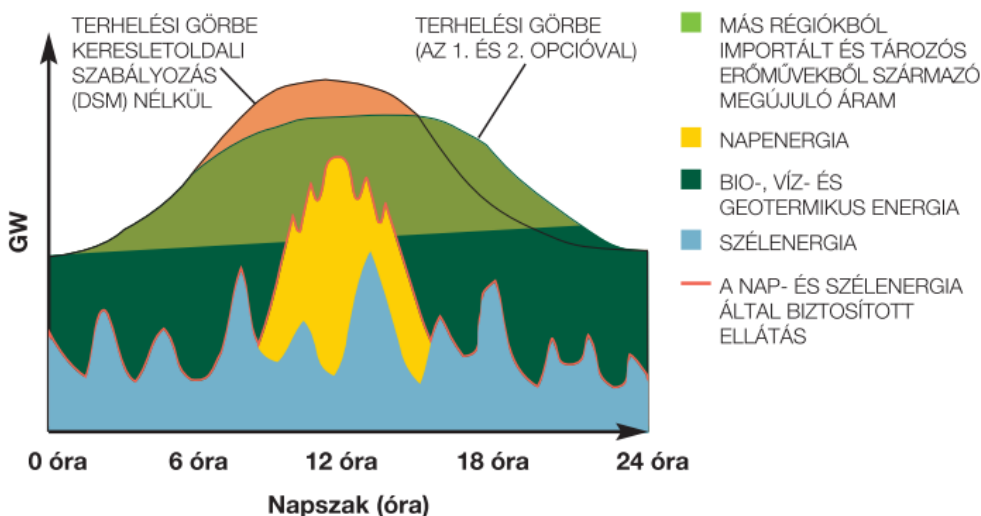


1. ábra: A villamosenergia-rendszer sematikus terhelési görbéje a jelenlegi gyakorlat szerint [19].

A mai hazai rendszerben egy példaként vett napi termelési görbe menete a fenti ábrán látható: az igények nagy részét a paksi atomerőmű zsinórtermelése adja (alaperőművi termelés), ezt gyakorlatilag az év során csak a karbantartó munkálatok alatt csökkentik. A fogyasztásnak megfelelő termelést a rendszerirányító a szabályozható (elsősorban gáz)

erőművek termelésének illetve az import-export mennyiségének változtatásával éri el. A nem szabályozható erőművek között vannak a megújulók is: ezek jelenleg csak egy igen kicsi hányadát képviselik az igényeknek, azaz a valóságban a hazai ábrában a zöld sávot körülbelül harmadakkorának lehet elképzelni. Egy ilyen centralizált rendszerben a megújulók részaránya körülbelül maximum 20-25% lehet [19].

A rugalmas energiarendszer ezzel ellentétben a következő módszertannal működik: „nézzük meg, mennyi a megújuló alapú energiatermelés, és használjunk fel, alakítsuk át vagy tároljunk belőle annyit, amennyit csak lehetséges!”. Ez tehát egy merőben más hozzáállást jelent, ahol az energiarendszer legértékesebb eleme a megújuló alapú villamos energia, melyből a megújuló kapacitásoknak, a minél szélesebb földrajzi eloszlásnak és a technológiai diverzitásnak köszönhetően mindig van megfelelő mennyiségű rendelkezésre álló energia. Sőt, éppen az a probléma, hogy egyes esetekben (pl. országosan nagy szelek) túlermelés jelentkezik, amellyel a rendszerirányítás nem tudna megküzdeni és a villamosenergia-rendszer összeomlása is bekövetkezhetne, ha nem állnának rendelkezésre új, a rendszer rugalmasságát biztosító szabályozási eszközök és technológiák. Ezek azonban lehetővé teszik, hogy az egész rendszer a megújulók termeléséhez igazodhasson anélkül, hogy a fogyasztók ellátásában érezhető minőségi változás következne be. A rendszer alapelve tehát a „termeljünk csak megújulókkal, de kevesebbet”.



2. ábra: A villamosenergia-rendszer sematikus terhelési görbéje a rugalmas energiarendszer koncepciója szerint [19].

A fenti ábrán látható terhelési görbét a jelenlegihez képest sokkal „kaotikusabban” töltik fel a különböző termelők, azonban itt akár már 100%-ban megújuló forrásokról is beszélhetünk! Az időjárástól függő, azonban együttvéve mégis inkább napközben aktív nap- és szélenergia adja tehát az áramtermelésnek azt az alapját, amelyet a jól, vagy jobban szabályozható biomassza-, víz- és geotermikus energia egészít ki a fogyasztók igényeinek megfelelően. Ez azonban nem mindig elég; a kereslet oldali szabályozás, a régiók (vagy országok) közötti import-export és a különböző energiatárolási technológiák igénybevétele szükséges ahhoz, hogy mindezek egy komplex rendszerként zavartalanul biztosítsák a villamosenergia-igényeket, méghozzá fosszilis üzemanyagok használata nélkül.

A rendszerszabályozás, ahogy a fentiek alapján is érzékelhető, a rugalmas energiarendszer esetében teljesen más logika alapján történik. Fontos eszköze a fogyasztó oldali szabályozás (DSM), illetve a kapcsolt erőművek leszabályozhatósága, amely már ma is a dán energiarendszer egyik gyakran alkalmazott fogása. Ez a rendszerszabályozási eszköz egyszerre növeli az ellátásbiztonságot, az erőforrás-takarékosságot és a megújuló energiaforrások átalakíthatóságának lehetőségét. Dániában gazdasági számításokkal is meghatározták, hogy pl. milyen mértékű szélenergia-termelés esetén érdemes egyes kapcsolt erőműveket leszabályozni úgy, hogy a rendszer szempontjából még úgy is nyereséges legyen ez a lépés, hogy az adott erőművek a kiesett termelésért kárpótlást kapnak [3].

A rugalmas energiarendszerek másik fontos sajátossága és működési feltétele az alkalmazott technológiák rendkívül széles tárháza, melyek lehetővé teszik a különböző energiatípusok (elsődleges vagy másodlagos, többek között villamos energia, hő, biogáz és szintetikus gázok, hidrogén stb.) egymásba való átalakítását és tárolását, mindig az adott szituációnak megfelelően. A következő technológiák vehetnek részt a rugalmas energiarendszerek működtetésében [6]:

- ipari és lakossági hőtárolók (néhány órától a szezonálisig);
- ipari bojlerok (villamos energiával vízmelegítés);
- ipari és lakossági hőszivattyúk;
- elektromos kályhák;
- elektromos autók;
- sűrített levegős energiatárolók (CAES);
- szivattyús tárolók;

- hidrogén termelés és tározás;
- hagyományos akkumulátorok.

A megújuló alapú hő- és villamosenergia-termelő egységeket nem soroltuk fel, hiszen egy 100% megújuló alapú rendszerben azt feltételezzük, hogy ezek a lehető legnagyobb földrajzi és technológiai diverzitással vannak jelen, méghozzá olyan kapacitásokkal, amelyek az év minden órájában biztosítják a megfelelő mennyiségű és típusú energiák előállítását. A probléma, melynek megoldásában a rugalmas energiarendszerre van szükség, tehát elsősorban túltermelés esetén áll fenn. És hogy hogyan is vesznek részt ezek a technológiák a hatékony rendszerszabályozásban? Ennek érzékeltetésére tekintsünk át két helyzetet:

1. eset: hideg téli nap, nagy hőigénnyel; délután az egész országban jelentős széllelkések:

A fokozódó szélergia-termelés következtében sorra állnak le a kis, decentralizált, biogáz- vagy biomassza-tüzelésű kapcsolt erőművek. Ezen erőművek leállása azonban nem csak a villamos-, de a hőenergia-termelés leállítását is jelenti, utóbbira azonban változatlan az igény! Ilyenkor nyúlnak az erőművek belső hőenergia-tározóihoz, melyekből zavartalanul tudják biztosítani a hőigények ellátását. Ha azonban a tározó nem volt feltöltve, vagy idő előtt kimerült, a – szintén az erőmű részét képező – ipari méretű bojlerekkel vagy hőszivattyúkkal oldják meg a termelést. És mivel ezek villamos energiát használnak hőenergia előállításához, hatékonyan tudják csökkenteni az esetleges villamosenergia-túltermelést – ami a kiindulási pontja volt a fenti folyamatnak. Ha még ez sem lenne elég, vagy a magas hőigények nem teszik lehetővé a kapcsolt erőművek nagymértékű leállítását, az elektromos autók okos töltési rendszere (ún. smart charge) lehetővé teszi azt, hogy a hálózatra kapcsolt járművek az ilyen időszakokban töltődjenek fel, megoldva a felesleges árammennyiség hasznosítását.

2. eset: meleg nyári nap, kis hőigénnyel; az egész országban felhőtlen idő, erős napsütés:

A fenti esetben cél a napelemek által termelt nagy mennyiségű villamos energia felhasználása. Ilyenkor az első lépés a kapcsolt erőművek leszabályozása, mely az alacsony hőigényeknek köszönhetően nem jelenthet komoly problémát. Amennyiben így nem sikerült az igényeket és a termelést kiegyenlíteni, az áramot elsősorban elektromos autók akkumulátorában, másodsorban egyéb tározási módszerekkel: szivattyús tározók, CAES, hidrogéntermelés stb. lehet későbbre tározni, vagy esetleg hőenergiává átalakítani és ilyen formában tartalékolni.

A dán kutatások a fenti rendszerek működőképességét órás felbontású, az időjárás változásait is magában foglaló szimulációkkal elemzik, illetve további átalakítási lehetőségeket kutatnak (pl. biogázból üzemanyagtermelés, szintetikus üzemanyagok előállítása, tengervíz sótalánítása), bővítve a felhasználható átalakítási pontok számát.

Összegzés

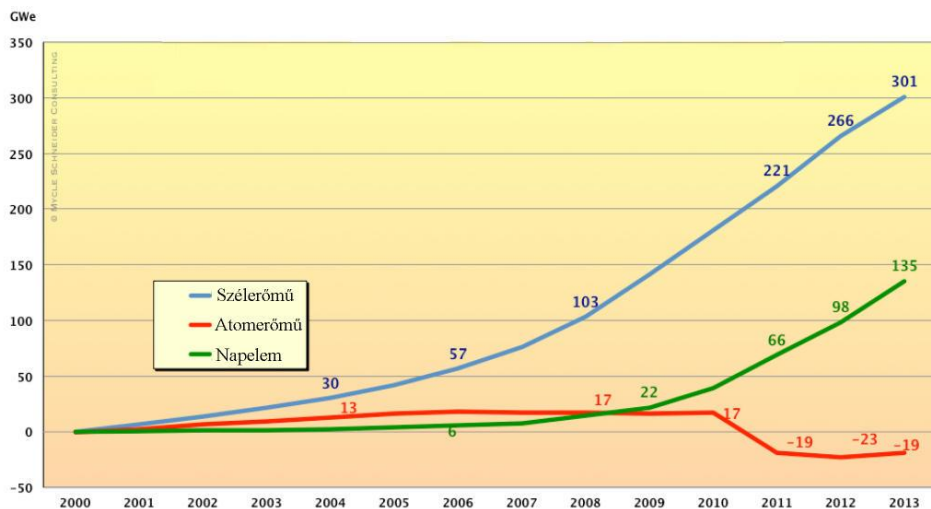
A fent bemutatott technikák lehetővé teszik, hogy kiegyenlítsék a szakaszosan termelő megújuló energiaforrások termelési görbáját, ezáltal hozzájárulnak az energiarendszerbe való integrálásukhoz. Ugyanakkor látni kell, hogy a globális energiaválság megelőzéséhez az emberi tényező ugyanolyan fontos, mint a műszaki innovációk. Ezért elengedhetetlenül szükséges a megfelelő szabályozási környezet kialakítása és a környezeti nevelés általi szemléletváltás. Az előbbi, vagyis a szabályozás, azonban nem csak a fogyasztók motiválásában játszik szerepet, hanem a jelenlegi torz gazdasági környezet kiigazításában is. Tehát az energetikai átmenettel kapcsolatban azt is látnunk kell, hogy az **gazdasági racionalitásként** is megoldás számos jelenlegi közgazdaságtani kihívás kezelésére. Ezen problémák ismét csak a rendszerszemlélet hiányosságaiból fakadnak, és bár ezek az 1970-es évek óta ismeretesek, megoldásuk terén mindeddig még európai szinten is csak szerény eredményeket sikerült felmutatnunk. Ezen problémák három, egymással részben összekapcsolódó pontban foglalhatók össze: állami támogatások, projekt szintű gondolkodás, externáliák.

Az **állami támogatások** hosszú évtizedekre visszamenően – még az energetikai átmenet élharcosa, Németország esetében is – meghatározóan a fosszilis és atomenergetika területére irányulnak (Németországban 1970 óta 611 milliárd Euró értékben), miközben a megújulók ugyanezen időszakban mindösszesen 67 milliárd Euró támogatást kaptak. Még inkább meglepő, hogy ez az arány az utóbbi néhány évben sem változott [13, 14]. Ez a tény tehát azt igazolja, hogy a megújuló energiaforrások súlyos és indokolatlan versenyhátrányban vannak a konkurens megoldásokhoz képest.

A versenyhátrányt tovább fokozza a **projekt szintű gondolkodás**, amely nem vesz tudomást a nagyobb rendszerekben, a nemzeti és globális szinteken jelentkező, és/vagy időben később felmerülő következményekről. Ez a témakör szorosan kapcsolódik az **externáliák**, vagyis a külső költségek problematikájához, amelyek minden mértékadó elemzés esetében a megújuló energiaforrások tekintetében a legalacsonyabbak (vagyis ezek esetében torzítanak legkevésbé). A fosszilis alapú és az atomerőművek tehát egyaránt úgy termelnek, hogy eközben lényegesen nagyobb közvetett módon jelentkező költséget generálnak, amelyek projekt szinten nem látszanak. Példaként hozhatjuk az atomenergia externális költségfaktorainak sokaságát, amelyek közül most csak a hulladékelhelyezés és hulladéktalmatlanítás esetét ragadjuk ki. Ezek a tevékenységek

400 ezer éven át jelentenek monitorozással és őrzéssel kapcsolatos kiadásokat, amelyek jelenleg nem jelennek meg az atomerőmű által termelt áram árában, vagyis a tényleges kiadásokhoz képest lényegesen alacsonyabb árakat eredményeznek – további drasztikus versenyhátrányt jelentve a megújulóknak.

Csak holisztikus megközelítéssel – így a fenti gazdasági összefüggések feltárásával és a problémák orvoslásával – érhető el az Európai Unióban és a világ számos más térségében már régóta zajló energetikai forradalomba való bekapcsolódás. Egészen bizonyosak lehetünk abban, hogy ennek elodázása már középtávon súlyos működési zavarokat fog okozni hazánk energiagazdálkodásában. Aktuális magyarországi energiapolitikai kontextusba helyezve: csak az energetikai hatékonyság fokozásával, az energiafogyasztás csökkentésével, a lokálisan rendelkezésre álló megújuló energiaforrások intenzív alkalmazásával kerülhetjük el azt a gazdasági kudarcot és súlyos környezeti kihívást, valamint az ezekből fakadó társadalmi feszültséget, amelyet a Paks 2 erőmű megépítése okozna. Szükségeseznek látszik tehát azoknak a tényezőknek a mélyreható hazai elemzése, amelyek szerte a világban egy teljesen más fejlesztési irány dominanciáját eredményezték – lásd 3. ábra.



3. ábra: A villamos hálózatra integrált szél- nap- és atomenergetikai kapacitások változása a 2000. évi állapothoz képest, globális kitekintésben [16]

Hivatkozások

- [1] Allen, P. (szerk.): Zero Carbon Britain – Rethinking the Future; Centre for Alternative Technology; Machynlleth, 2013. (ISBN: 978-1-902175-69-0)
- [2] Dán Kormány: Energy Strategy 2050 – from coal, oil and gas to green energy. – The Danish Government, Koppenhága, 2011, (ISBN: 978-87-92727-14-5), Elérhető: <http://www.denmark.dk/NR/rdonlyres/2BD031EC-AD41-4564-B146-5549B273CC02/0/EnergyStrategy2050web.pdf> (Elérés: 2014. 10. 13.)
- [3] Hvelplund, F.: Wind power ownership. – Az Aalborgi Egyetem Environment and Energy Policy kurzusán elhangzott prezentáció. Aalborg, 2011. 02. 10.
- [4] IDA: Danish Society of Engineers' Energy Plan 2030. –Ingeniørforeningen i Danmark, 2006.
Elérhető: <http://ida.dk/sites/climate/introduction/Documents/Energyplan2030.pdf> (Elérés: 2014. 10. 11.)
- [5] IEA (International Energy Agency): IEA energy statistics and balances for 2000 and 2005 as input data - megvásárolt adatbázis; IEA, 2010.
- [6] Lund, H.: Technical Energy System Analysis and Policy Design. – Az Aalborgi Egyetem Technical Energy System Analysis and Policy Design kurzusán elhangzott prezentáció. Aalborg, 2011 február, 63 dia
- [7] Lund, H. (szerk.): Coherent Energy and Environmental System Analysis: A strategic research project financed by The Danish Council for Strategic Research Programme Commission on Sustainable Energy and Environment; Aalborg University, Aalborg, 2011. (ISBN: 978-87-91404-15-3)
Elérhető: http://www.ceesa.plan.aau.dk/digitalAssets/32/32603_ceesa_final_report_samlet_02112011.pdf (Elérés: 2014. 10. 01.)
- [8] Mathiesen, B. V. – Lund, H. – Karlsson, K.: IDA's Climate Plan 2050: Background Report; The Danish Society of Engineers, Koppenhága, 2009.
Elérhető: <http://ida.dk/omida/laesesalen/Documents/UK-Future%20Climates%20Background%20Report.pdf>
- [9] MAVIR (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt.): A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése; MAVIR, Budapest, 2012.
Elérhető: http://www.mavir.hu/documents/10258/15461/Forr%C3%A1lselemz%C3%A9s_2012.pdf/afac965c-b567-4738-af14-847a94013532 (Elérés: 2014. 10. 16.)
- [10] Meadows, D. H. – Meadows, D. L. – Randers, J.: Beyond the Limits – Confronting Global Collapse and Envisioning a Sustainable Future; Post Mills,

- Vermont Chelsea Green Publishing Company, 1992. (ISBN: ISBN 1-85383-130-1)
- [11] Munkácsy B. [szerk.]: Az energiagazdálkodás és az emberi tényező; Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 2008 (ISBN 978-963-06-4744-1)
 - [12] Munkácsy B. [szerk.]: Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon, Vision 2040 Hungary 1.0; Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 2011. (ISBN 9781234567897)
 - [13] Munkácsy B. [szerk.]: A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út. Erre van előre! – Vision 2040 Hungary 2.0; Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 2014 (ISBN 978-963-284-362-9) Elérhető: <http://ktf.elte.hu/wp-content/uploads/2014/09/ERRE-VAN-ELORE-2.0.pdf> (Elérés: 2014. 10. 16.)
 - [14] Munkácsy B. [szerk.]: A fenntartható energiagazdálkodás földrajzi összefüggései; ELTE TTK, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, 2013 (ISBN 978-963-284-371-1) <http://ktf.elte.hu/wp-content/uploads/2012/10/A-kiadv%C3%A1ny-v%C3%A9gleges-02.pdf> (Elérés: 2014.10.16.)
 - [15] Norgaard, J.: Sustainable Energy Future - Nordic Perspective; Keynote at workshop "Sustainable and Peaceful Energy Future in Asia", 28. - 30. September 1998, Seoul and at Pan-European NGO Sustainable Energy Seminar, 18.-22. September 2001, Denmark (kézirat)
 - [16] Schneider, M. et al: The world nuclear industry status report. Elérhető: <http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/201408msc-worldnuclearreport2014-hr-v4.pdf> (Elérés: 2014. 10. 29.)
 - [17] SFSO (Swiss Federal Statistic Office): Switzerland's ecological footprint - A contribution to the sustainability debate; Swiss Federal Statistical Office, 2006. (ISBN: 3-303-21020-9)
 - [18] Stróbl A.: Támogatások a villamosenergia-ellátásban. (kézirat)
 - [19] Tröster, E. – Kuwahata, R. – Ackermann, T.: Hálózatok harca; Greenpeace, 2011. (ISBN 978-963-08-2721-8) Elérhető: http://www.greenpeace.org/hungary/Global/hungary/informes/up_files/1321462326.pdf (Elérés: 2014. 10. 11.)